

Medida de la resistencia de aislamiento en el equipo eléctrico

Andrés Granero

El equipo eléctrico de una instalación deberá estar aislado entre sí y con respecto a tierra. Esta característica de aislamiento no es constante y puede deteriorarse con el paso del tiempo por razones de humedad, por la acción de inclemencias atmosféricas, contaminación, etc.

Por esta razón es aconsejable el estudio del aislamiento a lo largo de la vida de los equipos, para poder prevenir su envejecimiento prematuro y sus averías.

Debido a la importancia de esta medida en el mantenimiento eléctrico de Subestaciones y Centros de Transformación se exponen a continuación algunas particularidades de los procedimientos para su realización.

Procedimiento para la realización de medidas de resistencia de aislamiento

Antes de su aplicación, se observarán las siguientes reglas de seguridad:

- Se comprobará que el equipo a ensayar está desconectado de toda fuente de tensión y se descargará a tierra antes de probarlo.
- El área de ensayos se mantendrá protegida del peligro de descarga eléctrica mediante el uso de rótulos adecuados, barreras, señalización, etc. aplicando las reglas de seguridad denominadas “5 reglas de oro”.



Medidor de la resistencia de aislamiento (Megger)

- El equipo eléctrico que se ha de ensayar, si está próximo a elementos en tensión, puede tener cargas residuales y se descargará a tierra antes de tomar medidas de su resistencia de aislamiento.
- Tras la aplicación de cualquier tensión de ensayo el equipo comprobado deberá ponerse a tierra para descargar las cargas acumuladas que podrían representar un peligro para el personal.

Los instrumentos para la medición de la resistencia de aislamiento son los denominados Megóhmetros (Megger) de accionamiento manual a magneto (normalmente utilizados para el ensayo de 1 minuto) o del tipo electrónico con márgenes de tensiones de ensayo de 500 a 5.000 voltios como equipo estándar.

Los bornes de salida de los megóhmetros pueden disponer de dos o tres bornes, en los cuales van marcadas las polaridades (–), (+) o bien las letras L – E respectivamente; si disponen del tercer borne, vendrá marcado por las letras S o G.

El terminal rojo o marcado con “+”, E o “Tierra”, normalmente se conecta a la carcasa, tierra o cubierta de cable, mientras que el terminal negro o marcado con “-“, “L” o “activo”, se conecta al conductor, o la parte activa del equipo. Esta forma de conexión es la normalmente utilizada ya que en ciertos tipos de aislamiento en altas tensiones y elevada resistencia, existen diferencias en las lecturas dependiendo del terminal en que se conecte la tierra. Al utilizar este convenio obtendremos menor valor en las lecturas de la resistencia de aislamiento.

El borne (S o G), denominado «guarda», evita que las corrientes superficiales afecten a la medida de aislamiento.

Para los procedimientos de ensayo que comentaremos a continuación las tensiones de cc. a aplicar se recomienda estén de acuerdo con la siguiente tabla según IEEE std 43-2000, para máquinas de inducción trifásicas de acuerdo con el valor de la tensión asignada para estos métodos la diferencia de resistencia a la tensión de prueba y la tensión de operación no son demasiado significativos.

| Tensión del equipo eléctrico | Tensión de prueba |
|------------------------------|----------------------|
| < 1000 | 500V. cc. |
| 1001 a 2500 V. | 500 a 1000 Vcc. |
| 2501 a 5000 V. | 2500 a 5000 V cc. |
| 5001 a 12000 V. | 2500 a 5000 V cc. |
| > 12000 V. | 5.000 a 10000 V. cc. |

Procedimientos de ensayo del aislamiento:

• Ensayo de un minuto o de tiempo corto

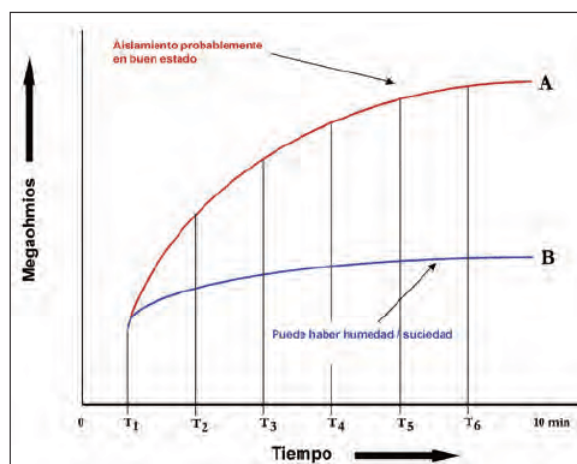
El ensayo de un minuto es un ensayo preliminar, se emplea habitualmente para verificar que el aislamiento del equipo es satisfactorio para la realización de pruebas posteriores, la resistencia de aislamiento obtenida no será necesariamente la resistencia máxima, pero si puede determinar la calidad de los aislantes si se observa que los valores de la resistencia son crecientes a lo largo de los 60 seg. de la prueba

Como se ha indicado, el ensayo de un minuto se utiliza antes de la aplicación de un ensayo de rigidez dieléctrica y también es la primera etapa el ensayo del índice de polarización.

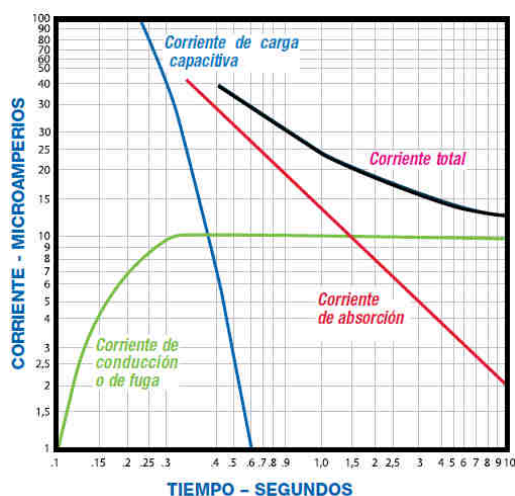
• Ensayo de Tiempo – resistencia

Cuando se aplica un voltaje de prueba a un aislamiento y la intensidad disminuye durante la comprobación, aumenta la resistencia aparente del aislamiento, este incremento puede ser bastante rápido al principio, pero pueden pasar varios minutos antes de que llegue a un valor constante, particularmente sí el aislamiento está seco.

Por otra parte, si el devanado está húmedo o sucio, la corriente de conducción será alta y la corriente de absorción será comparativamente baja (véase «curva típica tiempo-resistencia»)



Se tomarán sucesivas lecturas en cada periodo de tiempo de 5 a 10 minutos, y las diferencias entre ellas se anotarán. Si el aislamiento es bueno, las lecturas obtenidas se incrementarán conforme aumenta el tiempo del ensayo. Esto es debido al efecto de carga de la absorción capacitiva del aislamiento. Sin embargo, si las lecturas son aproximadamente del mismo valor a lo largo del tiempo del ensayo, el aislamiento está contaminado por polvo, grasa, o deteriorado.



Componentes de la corriente de prueba (Capacitiva, absorción y de fuga o conducción)

Las fugas a través de las superficies aislantes (camino de conducción) originadas por la grasa y el polvo son ligeramente constantes y enmascaran el efecto de absorción, y por tanto dan valores de resistencia bajos.

Las ventajas de este método son importantes, por un lado es independiente de la temperatura y del tamaño de la máquina bajo prueba y por otro es que muestra directamente la condición del aislamiento sin necesidad de referirse a resultados de pruebas anteriores.

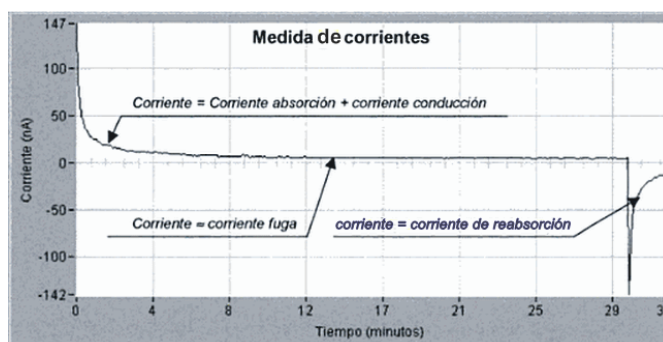
• Índice de absorción y reabsorción dieléctrica

Este ensayo es una extensión del ensayo anterior de tiempo-resistencia, es una técnica utilizada para registrar y documentar los resultados de estas pruebas.

El índice de absorción dieléctrica es la relación de dos lecturas tiempo-resistencia. Es decir, de una lectura tomada a los 60 seg. dividida por la lectura tomada a los 30 seg.

Al estar la corriente de absorción muy influenciada por la estructura interna del dieléctrico, puede utilizarse como una medida para apreciar su degradación interna.

Durante la medida aparecen juntas la corriente de absorción y la de conducción, lo que nos va a impedir diferenciar ambas corrientes. Este inconveniente se evita a través de la medida de la corriente de reabsorción.



La corriente de reabsorción es la corriente de descarga a 1 minuto de cortocircuitar el aislamiento (después de ser cargado durante 30').

El principio de la medición es el siguiente: primero se carga el dispositivo a probar durante 30 minutos para alcanzar un estado estable (se alcanza la carga capacitiva y la polarización y la única corriente que circula es la corriente de fuga). Se descarga entonces el equipo en prueba mediante una resistencia interna del megaóhmetro y se mide la corriente que circula.

Esta corriente está compuesta por las corrientes de descarga capacitiva y de reabsorción dando la descarga dieléctrica total. Se mide esta corriente tras un tiempo de 1 minuto. La corriente depende de la capacidad global y de la tensión final de la prueba. El valor del índice de reabsorción se calcula según la fórmula:

$$IR = \frac{\text{Corriente 1 minuto}}{(\text{Tensión de ensayo} \times \text{Capacidad})}$$

La temperatura influye notablemente en el valor de la corriente de reabsorción al aumentar la movilidad de las cargas en el interior del aislante, por lo que se deberá referir la medida del índice de absorción a la temperatura base de 20 °C según la tabla siguiente.

| Índice de reabsorción (mA V ⁻¹ F ⁻¹) a 20 °C | Condiciones del aislamiento |
|--|--------------------------------|
| < 2,5 | Excelente |
| 2,5 a 4,5 | Bueno |
| 4,5 a 7 | Dudoso |
| > 7 | Malo |

• Índice de polarización

El índice de polarización es el término aplicado al índice de absorción dieléctrica cuando las lecturas de las resistencias son tomadas a 1 minuto y a 10 minutos. Con esta prueba de más larga duración que el índice de absorción se obtienen mejores resultados y da una idea más clara de la condición del aislamiento del equipo.

El índice de polarización se calcula según:

$$I.P. = \frac{R_{10} \text{ min}}{R_1 \text{ min}}$$

Condiciones del aislamiento del equipo después de obtenido el índice de polarización:

| Absorción dieléctrica 60 s/30 s. Relación | Índice de Polarización 10 min/ 1 min Relación | Condiciones del aislamiento Condición |
|--|--|--|
| ---- | <1 | peligroso |
| 1 a 1,25 | 1 a 2 | dudoso |
| 1,1 a 1,25 | 1,5 a 2 | dudoso |
| 1,25 a 1,4 | 2 a 3 | aceptable |
| 1,4 a 1.6 | 3 a 4 | bueno |
| >1,6* | > 4* | excelente |

Los valores por encima del 20% de las cifras anteriores en motores y generadores pueden indicar que los aislamientos de los devanados están secos y quebradizos y pueden romper ante un esfuerzo, tales condiciones deberán verificarse antes de proceder a su puesta en funcionamiento.

La norma IEC 60085.01 indica que para aislamientos de la clase A, el índice de polarización debe ser superior a 1,5, mientras que para aislamientos de la clase B, F o H, este valor debe ser superior a 2.

NOTA:

La prueba del índice de polarización es apropiada para el control de los equipos con aislamientos sólidos, no es adecuada para transformadores en baño de aceite para los que daría resultados bajos incluso en situaciones de buenas condiciones de aislamiento.

• Método de las dos tensiones o saltos de tensión

Es la aplicación de un voltaje de prueba durante un tiempo conocido, por ejemplo, un minuto, midiéndose la resistencia de aislamiento aparente una vez finalizado este tiempo. Se eleva posteriormente el voltaje hasta un nivel determinado, midiéndose la resistencia de aislamiento al final del mismo.

Si una prueba que se realiza a 500 V y (una vez descargado el equipo en prueba) seguidamente aplicamos una tensión de 2 500 (normalmente en proporción 1 a 5), y observáramos que las lecturas tomadas a 2 500 son inferiores que a 500 V detectará un fallo a la tensión de prueba mayor, siendo necesario investigar las posibles causas.

Es cierto que el valor de la resistencia de aislamiento disminuye a medida que aumenta la tensión de prueba, sin embargo para devanados en buen estado, los valores obtenidos son muy parecidos independientemente de la tensión aplicada.

Es suficiente con un tiempo para la prueba de 60 segundos

✓ Correcciones por temperatura

La temperatura hace variar el valor de la resistencia de aislamiento según una ley casi exponencial.

Las variaciones en la temperatura del equipo eléctrico afectan a los valores medidos de la resistencia de aislamiento. Hemos visto que los métodos anteriormente indicados son independientes de la temperatura, pero la aplicación de cualquier otro método precisa corregir las lecturas a una temperatura de referencia común, de lo contrario, estaríamos introduciendo errores muy importantes en los valores de las resistencias de aislamiento obtenidas.

Los valores mínimos aceptables para la resistencia de aislamiento de los equipos que están a la temperatura ambiente, deben ser corregidos a la temperatura de referencia de 20 °C. Para convertir las lecturas observadas de resistencia de aislamiento a los valores a 20 °C se utilizará la siguiente relación:

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = R_{t_c} \cdot K_{t20^{\circ}\text{C}}$$

En la que:

$R_{20^{\circ}\text{C}}$ = Resistencia de aislamiento (ohms) corregida a 20 °C.

R_{t_c} = Resistencia de aislamiento medida (ohms) a la temperatura t (°C).

$K_{t20^{\circ}\text{C}}$ = Coeficiente de corrección de temperatura de la resistencia de aislamiento en función de la temperatura observada (°C) en la medición (ver tabla siguiente).

| Temperatura °C | Factor $K_{20^{\circ}\text{C}}$ |
|-------------------|------------------------------------|
| 0 | 0,25 |
| 5 | 0,36 |
| 10 | 0,50 |
| 15,6 | 0,74 |
| 20 | 1,00 |
| 25 | 1,40 |
| 30 | 1,98 |
| 35 | 2,80 |
| 40 | 3,95 |
| 45 | 5,60 |
| 50 | 7,85 |
| 55 | 11,20 |
| 60 | 15,85 |
| 65 | 22,40 |
| 70 | 31,75 |
| 75 | 44,70 |

Cuando se determine la resistencia de aislamiento de cables se utilizará la temperatura del aire ambiente. Para las medidas de resistencia de transformadores en baño de aceite se utilizará la temperatura media del aceite, en transformadores secos se utilizará la temperatura de los bobinados, en equipo eléctrico cerrado en envoltorio metálica se utilizará la temperatura media del aire dentro de la envoltorio.

La resistencia de aislamiento (en particular de los bobinados) habitualmente cae tanto como sube la temperatura, por lo que una máquina en funcionamiento, al estar caliente tendrá una resistencia más baja que cuando está fría. Por ello, las pruebas deberían siempre realizarse inmediatamente después de un periodo de funcionamiento mientras la máquina está todavía caliente pero parada y en descargo.

Normalmente los resultados en estas circunstancias serán peores que en frío pero serán más apropiados para conocer realmente el estado del aislamiento en las condiciones normales de funcionamiento de la máquina.

En estos casos la referencia de temperatura se realiza a 40 °C, según la tabla siguiente:

| Temperatura °C | Factor K _{40°C} |
|-------------------|-----------------------------|
| 0 | 0,065 |
| 5 | 0,095 |
| 10 | 0,13 |
| 15 | 0,19 |
| 20 | 0,26 |
| 25 | 0,33 |
| 30 | 0,52 |
| 35 | 0,70 |
| 40 | 1,00 |
| 45 | 1,50 |
| 50 | 2,02 |
| 55 | 2,90 |
| 60 | 4,20 |

✓ Condiciones atmosféricas

Los valores de la resistencia de aislamiento para aislamientos expuestos a la intemperie pueden verse afectados por las condiciones atmosféricas y/o el polvo pudiendo ser la causa de que un circuito no conductor se vuelva parcialmente conductor y proporcione un valor erróneo para la resistencia de aislamiento. Para evitar esta situación deberán seguirse las siguientes precauciones:

- En los casos en que sea posible, la temperatura del aislamiento a ensayar deberá ser aproximadamente unos 5 °C mayor que la temperatura ambiente, para evitar condensaciones y el ensayo de resistencia de aislamiento deberá efectuarse cuando la humedad relativa del ambiente sea inferior al 60%.
- El calentamiento puede realizarse ya sea energizando las resistencias de calefacción del equipo, cuando estén disponibles, con lámparas calefactoras o bien con sopladores

de aire caliente. Deben tomarse las precauciones necesarias al realizar estas operaciones para evitar dañar el equipo en cuestión.

- Los aisladores, si están incluidos en el circuito a ensayar, se limpiarán con un disolvente para eliminar la contaminación superficial.
- Para evitar, en las pruebas de aislamiento, que las corrientes de fuga superficiales incidan en las mediciones, utilizaremos el borne de guarda del Megóhmetro, sobretodo cuando las máquinas son de gran potencia.

Con el borne "G" de guarda conseguiremos eliminar el efecto de la corriente superficial al retornar al aparato de medida la corriente de fuga, restándole ésta a la intensidad de conducción, de esta forma obtenemos la resistencia de aislamiento exclusiva del equipo ensayado.

Es evidente que es deseable que las dos mediciones, con y sin borne de guarda G, sean coincidentes, lo cual nos indicaría que dicho equipo carece de fugas superficiales.

Ensayo de equipos

Seguidamente se describen por separado los ensayos de cables, aparellaje y transformadores.

- **Cables de potencia y conductores de barras (Ensayo de un minuto)**

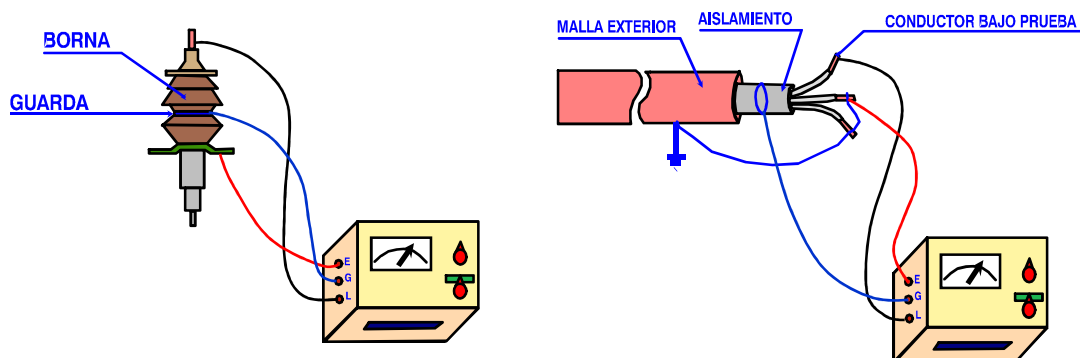
- Se adoptarán las medidas de seguridad dadas anteriormente.
- Conectar el Megóhmetro a un conductor del cable (o conductor de barras) y a tierra.
- Se pondrán a tierra los otros conductores (**Figura 8.16**)
- Accionar el Megóhmetro durante un minuto y anotar los datos en la gama de Mantenimiento. **Figura 8.17.**

La mínima resistencia de aislamiento corregida a 20°C será de 500 MΩ.

- Desconectar el Megóhmetro y poner a tierra el conductor del cable (o conductor de barras) que se haya ensayado.
- Repetir para las otras fases o conductores las etapas anteriores.
- Para los cables trifásicos y para las barras agrupadas, a parte de las pruebas realizadas se comprobará además la resistencia de aislamiento de fase contra fase.

- **Cables de control e instrumentación:**

- Se seguirán las instrucciones dadas anteriormente para cables de potencia con la única salvedad de que el ensayo se dará por finalizado cuando la aguja del medidor de aislamiento quede estabilizada.



Comprobación de la resistencia de aislamiento en cables y botellas terminales.

- La mínima resistencia de aislamiento corregida a 20 °C se indica en la siguiente tabla:

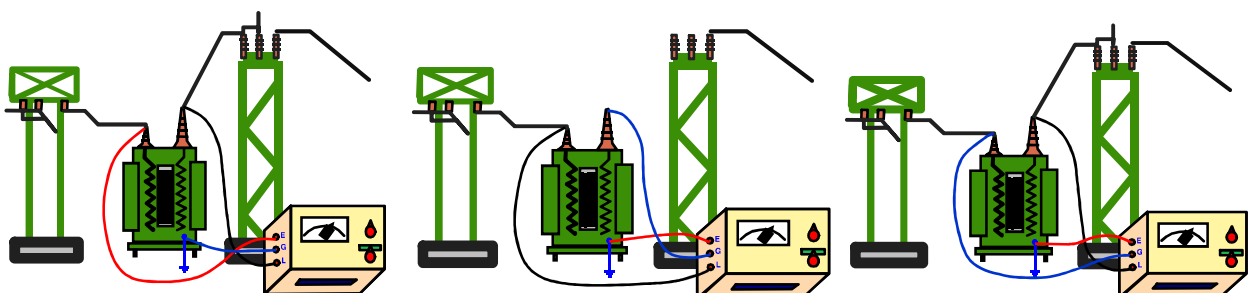
| Valores de aislamiento para cables de control | |
|---|--------------------------|
| Longitud en metros | Resistencia en $M\Omega$ |
| ≤ 3 | 500 |
| 4 | 450 |
| 5 | 400 |
| 10 | 200 |
| 15 | 135 |
| 20 | 105 |
| 25 | 85 |
| 30 | 70 |
| 35 | 60 |
| 40 | 55 |
| 45 | 45 |
| 50 | 40 |
| 60 | 35 |
| 70 | 30 |
| 80 | 25 |
| 90 | 20 |
| 100 | 20 |
| ≥ 125 | 15 |

- Aparellaje (ensayo de un minuto)
- Se adoptarán las precauciones de seguridad indicadas anteriormente.
- Antes de iniciar los ensayos:
 - Los interruptores deben estar en posición abierto y adecuadamente señalizados.
 - Si han de incluirse en el ensayo interruptores, se deberán desconectar los cables de alimentación para aislarlos.

- Desconectar los relés y los transformadores auxiliares como transformadores de tensión desembornando el devanado primario o extrayendo los fusibles del primario.
 - Conectar el comprobador a una fase ya tierra.
 - Poner a tierra las otras fases
 - Accionar el comprobador durante un minuto y anotar los datos en la gama de mantenimiento.
- La mínima resistencia de aislamiento corregida a 20 °C será de 500 MΩ.
- Desconectar el comprobador y poner a tierra la fase ensayada.
 - Repetir las etapas aplicables a las fases restantes

• Transformadores (ensayo de un minuto)

- Se adoptarán las precauciones de seguridad indicadas anteriormente.
- Desconectar los condensadores y cables de llegada y salida del transformador.
- Conectar el Megóhmetro en la forma descrita a continuación para la realización de las 3 medidas necesarias:
 - 1ª Medida (Medida entre MT – BT, protegido a Masa): Cable - en una fase de MT. y cable + en fase de BT. Si se utiliza la borna de guarda G se dispondrá en la masa del transformador.
 - 2ª Medida (Medida entre BT y Masa, protegido en MT): Cable - en una fase de BT y cable + en la Masa del transformador. Si se utiliza la borna de guarda G se conectará a una fase de MT.
 - 3ª Medida (Medida entre MT y Masa, protegido en BT): Cable - en una fase de MT y cable + en la masa del transformador. Si se utiliza la borna de guarda G se conectará en una fase de BT.
- La mínima resistencia de aislamiento aceptable corregida a 20 °C para transformadores en sistemas comprendidos entre 6 kV y 69 kV, a 20 grados centígrados, se encuentran entre 400 y 1200 MΩ (Megger).



a)

b)

c)

- a) Medida de aislamiento MT – BT protegido a Masa.
 b) Medida de aislamiento BT – Masa protegido en MT
 c) Medida de aislamiento MT – Masa protegido en BT

• Motores y generadores

Una vez aislado el motor o generador totalmente de la alimentación (interruptor abierto, fusibles sacados), se puentean sus terminales y se conectan al terminal del “L” o “-” del Megóhmetro, el terminal “E” o “+” lo conectamos a tierra utilizando la carcasa del motor.

Una vez tomamos lectura en el Megóhmetro observaremos si son correctas o no según los valores mínimos recomendados en el siguiente apartado. Si los resultados no son correctos deberemos identificar el defecto.

En la mayoría de los casos resistencias de aislamiento bajas son debidas a la acumulación de polvo de carbón o metálico que crean caminos de fugas de corriente superficiales. La situación empeora cuando la suciedad se mezcla con líquidos, tales como aceites lubricantes, etc. En tales casos una limpieza general de la máquina hará subir el aislamiento.

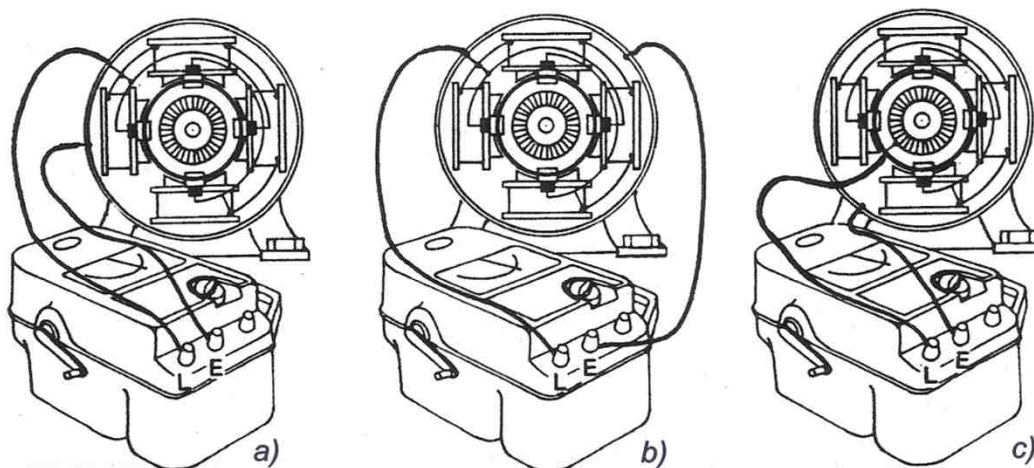
Si a pesar de la limpieza el aislamiento sigue siendo bajo, deberemos continuar con la identificación del defecto:

- a) Probaremos entre la armadura del estator y los bobinados (puenteados). Lo más probable es que sigamos teniendo el mismo resultado que en la prueba inicial.
- b) Se sacarán las escobillas del conmutador con objeto de separar las escobillas y bobinados de los bobinados de la armadura. Si el resultado sigue siendo incorrecto el problema se sitúa en las escobillas o en los bobinados de campo. Si el resultado es correcto, entonces:
- c) Realizamos otra prueba entre la armadura (aislada) y la carcasa, con lo que ahora se mostrara el fallo.

Una investigación posterior de forma similar nos revelará la parte de las escobillas o bobinados en defecto.

De igual manera, si después de desconectar el motor las pruebas resultan insatisfactorias, deberán probarse el arrancador, bobinas de resistencias, bobina de descarga sin tensión, bobina de sobrecarga, o el cable de conexión para localizar el problema.

El procedimiento dependerá del tipo de motor o arrancador en cada caso, los fallos no siempre son debidos a derivaciones a tierra sino también a derivaciones entre devanados. Si está derivación estuviera en la armadura entonces las pruebas en el conmutador, segmento por segmento, identificaría la parte en defecto del bobinado. Varias partes del circuito inductor pueden aislarse de forma similar y probarse.



- a) Medida entre la carcasa del motor y ambos devanados y escobillas
- b) Medida entre la carcasa del motor y el devanado inductor y escobillas
- c) Medida entre la carcasa del motor y la armadura del devanado

Valores mínimos de la resistencia de aislamiento

Dentro de los criterios de aceptación, se recomienda como regla práctica la posibilidad de considerar como válidos aquellos aislamientos cuya resistencia en $M\Omega$ supere el valor dado por la fórmula:

$$R = K \frac{E(V)}{P} (M\Omega)$$

Siendo:

R = resistencia de aislamiento en $M\Omega$,

K = factor de corrección por temperatura, referido a 20 °C,

E = tensión de servicio en V,

P = potencia de la máquina en kVA.

Desde muy antiguo se acepta que el valor del aislamiento mínimo para la tensión de 1 kV ha de ser de 1 $M\Omega$ y, aplicado a tensiones más elevadas, se dice que ha de ser: 1 $M\Omega \cdot kV + 1$.

La IEEE std 43-2000 indica los siguientes valores mínimos de aislamiento:

| Mínimo valor en $M\Omega$ | Equipo en prueba |
|---------------------------|--|
| $kV + 1$ | Motores antiguos |
| 100 | Motores AC y DC |
| 5 | Motores bobinado aleatorio y preformado de menos de 1 kV |

El CEI (Comité Electrotécnico Internacional) da la siguiente fórmula para el cálculo de la resistencia mínima de aislamiento:

$$R \geq \frac{E}{P + 1000}$$

Siendo:

R = resistencia de aislamiento en MΩ,

E = tensión de la máquina en V,

P = potencia nominal de la máquina en kVA.

Si la tensión E es inferior a 1 000 V, la resistencia de aislamiento deberá ser de 1 MΩ y no se tendrá en cuenta la fórmula anterior.

Experimentalmente se aceptan los valores mínimos, expresados en MΩ, siguientes en función de la tensión nominal y la temperatura:

| Tensión nominal | MΩ/20 °C |
|-----------------|----------|
| ≥ 66 kV | 1200 |
| 20 a 44 kV | 1000 |
| 6,6 a 19 kV | 700 |
| < 6,6 kV | 300 |

Para máquinas rotativas, la resistencia mínima de seguridad recomendada por la AIEE (Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) para equipos eléctricos a la temperatura de 75 °C nos da la siguiente fórmula. Ésta tiene por objeto servir de guía y no se debe tomar como regla precisa:

$$R_1 = SK_s f \frac{E + 3600}{\frac{kVA}{30} + 200}$$

Siendo:

R1 = resistencia de aislamiento mínimo en MΩ, medida con corriente continua a 500 V durante 1 minuto,

E = tensión nominal de la máquina en V,

kVA = potencia nominal de la máquina,

S = constante de velocidad del devanado, para:

| S | Velocidad (rpm) |
|-----|-----------------|
| 1,3 | 3600 |
| 1,0 | 1600 |
| 0,9 | 1200 |
| 0,7 | 600 |
| 0,4 | 100 |

K_s = constante dependiente de la clase de aislamiento: 1 para clase B y 0,1 para clase A

f = constante de la temperatura del devanado:

| Aislamiento Clase A | | Aislamiento Clase B | |
|------------------------|----------|------------------------|----------|
| f | Temp. °C | f | Temp. °C |
| 1 | 75 | 1 | 75 |
| 6,9 | 50 | 2,6 | 50 |
| 47 | 25 | 6,9 | 25 |

FUENTES:

Megger: “Guía para realizar pruebas de aislamiento”

Megger Company. “Guide to diagnostic insulation testing above 1kV

Chauvin Arnoux: “Guía de la medición de aislamiento”

IEEE Power Engineering Society. “Std 43-2000: Recommended practice of testing insulation resistance of rotating machinery.

IEEE Power Engineering Society. “Std 95-1977: Recommended practice for insulation testing of large AC rotating machinery with high direct voltage”.

IEC 60085.01: “Aislamiento eléctrico. Evaluación y designación térmica”